

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 23020071151320

UDC_____

厦门大学

硕士学位论文

基于无下采样 Contourlet 变换的多聚焦
图像融合方法研究

Research on Multi-focus Image Fusion Algorithm Based on
Nonsubsampled Contourlet Transform

邹蓉

指导教师姓名: 李玲玲 副教授

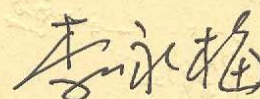
专业名称: 计算机应用技术

论文提交日期: 2010 年 4 月

论文答辩时间: 2010 年 月

学位授予日期: 2010 年 月

答辩委员会主席:



评阅人:

2010 年 6 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下，独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以适当方式明确标明，并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外，该学位论文为()课题(组)的研究成果，获得()课题(组)经费或实验室的资助，在(ATR)实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称，未有此项声明内容的，可以不作特别声明。)

声明人(签名): 邹蓉

2010年6月5日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）： 邹蓉

2010 年 6 月 5 日

摘要

图像融合是一门综合了传感器、图像处理、信号处理、计算机和人工智能等多种学科的现代高新技术。图像融合的主要思想是采用一定的算法，把来自多个传感器的多源图像综合成一幅新的图像，新的融合图像更符合人眼视觉习惯和机器感知。图像融合不是简单的叠加，它产生新的蕴含更多有价值信息的图像。目前，图像融合技术已广泛应用于遥感、军事、机器人以及医学处理等领域。

本文的研究重点是基于无下采样 Contourlet 变换的多聚焦图像融合算法。主要工作内容如下：

1、提出了一种基于改进区域方差的多聚焦灰度图像融合算法。对多聚焦灰度图像经无下采样 Contourlet 变换后分解得到的低频部分采用改进的加权平均融合规则，对分解得到的高频部分的最高层和其它层系数分别采用绝对值最大和改进的区域方差融合规则进行融合处理。该算法通过阈值的灵活调整，能较好地保留源图像中的有用信息，使融合图像具有更好的融合效果。

2、考虑到图像的边缘信息包含了源图像的大部分细节信息，所以提出了将源图像的边缘信息与改进的区域方差相结合作为高频系数的融合规则。这种多聚焦灰度图像的融合新算法能更有效地提取源图像中的细节信息，在融合效果上取得了更大的进步。

3、研究了基于 YIQ 颜色空间的彩色图像融合算法，进行了实验验证，实验结果表明，对 YIQ 各分量应根据它们各自的物理意义采用不同的融合规则，这样取得的融合效果优于对三个分量应用相同的融合规则。并在此基础上提出了一种基于 YIQ 颜色空间和无下采样 Contourlet 变换的多聚焦彩色图像融合算法。对含有较多细节信息的 Y 亮度分量直接采用基于区域绝对值的融合规则。对于 I、Q 色度分量，则采用改进的区域对比度融合规则。通过实验验证了这种改进算法的可行性、有效性和稳定性。

关键词：图像融合 无下采样 Contourlet 变换 多聚焦图像

厦门大学博硕士论文摘要库

Abstract

Image fusion is a comprehensive modern high technology including many subjects, such as sensor technology, image processing, signal processing, computer, artificial intelligence, etc. We use the term of image fusion to denote a process. Such process generates a single image which contains a more accurate description of the scene than any of the individual source images. This fused image should be more useful for human visual or machine perception. Image fusion is not simply to superpose images but can produce new images including more information. The technique of image fusion has been widely used in many fields such as remote sensing, military application, robot engineering, medical imaging, and so on.

The major content of this dissertation is multi-focus image fusion algorithm based on nonsubsampling contourlet transform. The main work can be summarized as follows:

1. After multi-focus images are decomposed by nonsubsampling contourlet transform, we fuse the low-frequency subband coefficients with the fusion rule based on the improved weighted average, while the fusion rule with maximum absolute value is used to fuse the highest level's high-frequency subband coefficients and the fusion rule based on the improved regional variance is used to fuse the other levels' high-frequency subband coefficients. This algorithm can reserve useful information from the source image better. Every pair of images for experiment has gotten a much better fusion result by adjusting the threshold value flexibly.

2. Because the border of image contains most detail information, we integrate the border information with the improved regional variance as a fusion rule for the high-frequency subband coefficients. This new multi-focus image fusion algorithm can extract the detail information from the source image more effectively and has made bigger progress in fusion result.

3. The color image fusion algorithm based on YIQ color space has been researched. Through experiments, it shows that adopting different fusion rules to Y

component, I component and Q component will get better fusion result than adopting the same fusion rule to them. It is better to use adaptive fusion rules for Y component, I component and Q component separately, according to their own physics significance. And on this basis, a color image fusion algorithm based on YIQ color space and nonsubsampling contourlet transform has been proposed. The absolute value of high-frequency subband coefficients is one of the indexes which judge image's detail information, and the fusion rule based on region is more excellent than the fusion rule based on single pixel in fusion result, so for Y component which presents brightness information and contains more detail information, we fuse the high-frequency subband coefficients with fusion rule based on regional absolute value. As to I component and Q component which present chrominance information, we use the fusion rule based on the improved regional contrast grade to fuse the high-frequency subband coefficients. Simulated experiments show that this fusion algorithm is feasible, effective and stable.

Key Words: image fusion; nonsubsampling contourlet transform; multi-focus image

目 录

中文摘要.....	I
英文摘要.....	III
第一章 绪论.....	1
1.1 研究背景及意义.....	1
1.2 研究现状与发展趋势.....	3
1.2.1 研究现状.....	3
1.2.2 发展趋势.....	5
1.3 本文研究工作简介.....	6
第二章 图像融合的基本理论.....	8
2.1 图像融合的基本概念.....	8
2.1.1 图像融合的定义.....	8
2.1.2 图像融合的过程.....	9
2.1.3 图像融合的层次.....	9
2.2 常见图像融合方法.....	12
2.2.1 基于空间域的融合方法.....	12
2.2.2 基于变换域的融合方法.....	14
2.3 图像融合的评价标准.....	20
2.3.1 主观评价.....	20
2.3.2 客观评价.....	21
2.4 本章小结.....	25
第三章 无下采样 Contourlet 变换理论.....	26
3.1 Contourlet 变换.....	26
3.1.1 拉普拉斯塔式分解.....	27
3.1.2 方向滤波器组.....	28
3.2 无下采样 Contourlet 变换.....	29
3.2.1 无下采样金字塔分解.....	29
3.2.2 无下采样方向滤波器组.....	31

3.3 本章小结.....	34
第四章 基于 NSCT 的多聚焦灰度图像融合.....	35
4.1 基于 NSCT 的多聚焦灰度图像融合流程.....	35
4.2 基于 Contourlet 变换与 NSCT 的图像融合效果比较.....	36
4.3 基于改进区域方差的融合算法.....	39
4.3.1 低频部分融合规则.....	39
4.3.2 高频部分融合规则.....	40
4.3.3 一致性检测.....	41
4.3.4 实验结果与分析.....	42
4.4 基于边缘信息与区域方差相结合的融合算法.....	45
4.4.1 低频部分融合规则.....	46
4.4.2 高频部分融合规则.....	46
4.4.3 实验结果与分析.....	47
4.5 本章小结.....	50
第五章 基于 NSCT 的多聚焦彩色图像融合.....	51
5.1 基于 NSCT 的多聚焦彩色图像融合流程.....	51
5.2 颜色空间变换.....	52
5.3 基于 YIQ 颜色模型的融合算法研究.....	53
5.3.1 基于 YIQ 颜色模型的融合算法.....	53
5.3.2 实验结果与分析.....	55
5.4 基于 YIQ 颜色模型与 NSCT 的改进的多聚焦彩色图像融合算法.....	58
5.4.1 融合规则.....	58
5.4.2 实验结果与分析.....	60
5.5 本章小结.....	62
第六章 总结与展望.....	63
6.1 全文工作总结.....	63
6.2 工作展望.....	64
参考文献.....	65
攻读硕士期间的项目科研成果.....	70
致谢.....	71

Contents

Abstract in Chinese.....	I
Abstract in English.....	III
Chapter 1 Introduction.....	1
1.1 Research background and significance.....	1
1.2 Research status and development trend.....	3
1.2.1 Research status.....	3
1.2.2 Development trend.....	5
1.3 Main contents of this research.....	6
Chapter 2 Basic theory of image fusion.....	8
2.1 Basic concept of image fusion.....	8
2.1.1 Definition of image fusion.....	8
2.1.2 Process of image fusion.....	9
2.1.3 Levels of image fusion.....	9
2.2 Common fusion algorithms.....	12
2.2.1 Fusion algorithms based on spatial domain.....	12
2.2.2 Fusion algorithms based on transform domain.....	14
2.3 Image fusion performance evaluation.....	20
2.3.1 Subjective evaluation.....	20
2.3.2 Objective evaluation.....	21
2.4 Chapter Summary.....	25
Chapter 3 Theory of nonsubsampling contourlet transform.....	26
3.1 Contourlet transform.....	26
3.1.1 Laplacian pyramid transform.....	27
3.1.2 Directional filter bank.....	28
3.2 Nonsubsampling contourlet transform.....	29
3.2.1 Nonsubsampling pyramid transform.....	29

3.2.2 Nonsubsampled directional filter bank.....	31
3.3 Chapter Summary.....	34
Chapter 4 The fusion algorithm of multi-focus image based on NSCT.....	35
4.1 The process of multi-focus image fusion based on NSCT.....	35
4.2 The comparison of image fusion based on contourlet transform and NSCT.....	36
4.3 The fusion algorithm based on the improved regional variance.....	39
4.3.1 Fusion rule of low-frequency subband.....	39
4.3.2 Fusion rule of high-frequency subband.....	40
4.3.3 Consistency check.....	41
4.3.4 Experimental results and analysis.....	42
4.4 The fusion algorithm based on the border information and improved regional variance.....	45
4.4.1 Fusion rule of low-frequency subband.....	46
4.4.2 Fusion rule of high-frequency subband.....	46
4.4.3 Experimental results and analysis.....	47
4.5 Chapter Summary.....	50
Chapter 5 The fusion algorithm of multi-focus color image based on NSCT.....	51
5.1 The process of multi-focus color image fusion based on NSCT.....	51
5.2 Conversion of color space.....	52
5.3 Research of fusion algorithm based on YIQ color space.....	53
5.3.1 Fusion algorithm based on YIQ color space.....	53
5.3.2 Experimental results and analysis.....	55
5.4 The improved fusion algorithm of multi-focus color image based on YIQ color space and NSCT.....	58
5.4.1 Fusion rule.....	58
5.4.2 Experimental results and analysis.....	60
5.5 Chapter Summary.....	62
Chapter 6 Conclusion and expectation.....	63

6.1 Conclusion of this thesis.....	63
6.2 Research expectation.....	64
References.....	65
Thesis and projects during master study.....	70
Acknowledgement.....	71

厦门大学博士论文摘要库

第一章 绪论

1.1 研究背景及意义

随着传感器技术的迅速发展, 各种具有不同成像机理、不同工作波长范围、不同工作环境与要求的传感器越来越多地运用于各种系统中。由于单一传感器获取的数据信息量有限, 往往难以满足实际需要, 而利用多源数据则可以提供对观测目标更加可靠的观察。然而系统中传感器数量的不断增加, 系统所获信息呈现出的多样性和信息量的急剧增加, 使得以往的信息处理方法已无法满足这种情况, 不能很好地解决多传感器组合使用所带来的新问题。于是, 信息融合技术应运而生。所谓信息融合 (Information Fusion)^[1,2], 是指对来自多个传感器的信息进行多级别、多方面、多层次的处理与综合, 从而获得更丰富、更精确、更可靠的有用信息。信息融合技术的主要研究内容是如何加工、处理以及协同利用多源信息, 使不同形式的信息相互补充, 从而最终获得对同一事物或目标的更客观、更本质的认识。Llinas和Edward^[3]从军事应用的角度对信息融合给出了如下定义: 信息融合就是一种多层次、多方面的处理过程, 这个过程对多源信息进行检测、结合、相关、估计和组合, 以达到精确的状态估计和身份估计以及完整、及时的态势评估和威胁估计。来自多个传感器信号所提供的信息具有冗余性和互补性, 信息融合可以最大限度地获取对目标和场景的完整信息描述。

图像融合是信息融合的一个重要分支, 是 20 世纪 70 年代末提出的概念, 是综合了传感器、图像处理、信号处理、计算机和人工智能的现代高新技术。图像融合^[4] (Image Fusion) 就是将两个或两个以上的传感器在同一时间或不同时间获取的关于某个具体场景的图像或图像序列信息加以综合, 以生成新的有关此场景解释的信息处理过程。图 1.1 为多源图像之间存在的冗余和互补信息示意图^[5]。多源图像融合不是简单地叠加, 它产生的是新的蕴涵有更多价值信息的图像。图像融合既可以融合同类传感器获取的图像, 也可以融合不同类型传感器获取的图像。融合得到的新图像具有更高的可信度、较少的模糊以及更好的可理解性, 更适合人的视觉或者计算机检测、分类、识别、理解等处理, 从而能够提高图像处理系统的探测和识别能力。

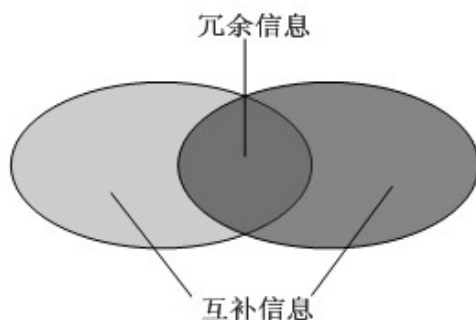


图 1.1 多源图像信息构成

Figure1.1 The constitution of multi-source images' information

总体而言，多源图像融合具有以下优点^[6]：

1. 扩大系统工作范围——由各种适用于不同工作环境的传感器组成的多传感器系统能够扩大系统的工作范围。例如，昼夜 24 小时监视的系统可以通过多传感器的图像融合而达到目的。

2. 提高系统的可靠性——从多传感器获取的联合信息能够减少图像中的噪声影响，从而提高图像的质量，减少决策过程中的不确定性因素。多传感器的冗余结构使得在一个或多个传感器失灵时，系统仍能依赖于其它传感器工作，从而提高了系统的鲁棒性。

3. 获取信息的更高效表示形式——图像融合能够获取信息的更高效表示形式。例如，在遥感系统中，仅需存储融合后的图像信息，这比存储各波段的光谱图像更能节省存储空间。

4. 提高系统的性价比——没有一种独立的传感器可以完成系统所需要的全部功能，即使能将这些要求都施加于一个独立的传感器上，其结果也将是不可接受的性价比。多源图像融合技术可在基本满足系统整体性能要求的情况下降低系统造价。

这诸多方面的优点使得图像融合不仅在目标检测、跟踪和识别以及情景感知等军事领域有了广泛应用，而且在对地观测、机场导航、安全监控、智能交通、医学成像与诊断、人类视觉辅助、地理信息系统、智能交通、智能制造、工业过程等民用领域也得到了广泛应用。随着多源图像融合技术的发展，其在军事和民用领域的应用会更为深入，对于国民经济的发展和国防建设均具有非常重要的意义。

1.2 研究现状与发展趋势

1.2.1 研究现状

美国是信息融合技术研究起步较早、发展较快的国家，首先将图像融合技术应用于遥感图像的分析 and 处理中。1979 年，Daliy 等人^[7]首先把雷达图像和 Landsat-MSS 图像的复合图像应用于地质解释，其对图像的处理过程可以看作是最简单的图像融合。1981 年，Laner 和 Todd^[8]进行了 Landsat-RBV 和 MSS 图像数据的融合试验。1985 年，Cliche 和 Bonn^[9]将 Landsat-TM 的多光谱遥感图像与 SPOT 卫星得到的高分辨率图像进行融合。上述图像融合所采用的融合算法主要有 IHS 变换、加权平均、差分及比率、PCA 变换、高通滤波等。这些算法都是在空间域对图像进行融合处理，不对参加融合的图像进行分解变换，融合处理只是在一个层次上进行的，可以认为是早期简单的图像融合尝试。

20 世纪 80 年代中期，图像融合技术开始引起越来越多人的关注。随着图像的多尺度分解和重构工具的出现和发展，专家和学者们开始尝试将源图像进行多尺度分解融合。1984 年，Burt P. J.^[10]首次提出了基于拉普拉斯金字塔变换的图像融合算法。随后，Toet A.，Burt P. J. 等人又分别提出了基于比率低通金字塔变换、对比度金字塔变换、形态金字塔变换、梯度金字塔变换以及方向金字塔框架变换等塔式变换的图像融合算法^[11-19]。

20 世纪 90 年代中期，小波变换开始应用到图像融合领域，它具有良好的时频分析特性、方向性以及各尺度上的独立性，可以获得比金字塔方法更好的融合效果。1993 年，Ranchin T. 和 Wald L.^[20]首次提出了基于离散小波变换的图像融合算法，并应用于遥感图像的融合处理。随后出现了基于离散小波框架变换和基于 \hat{a} trous 小波变换的图像融合算法^[21-23]，与离散小波变换不同的是，这两种算法使得图像的大小未发生变化，便于图像融合处理。随着小波理论的不断改进和发展，小波变换在图像融合领域得到了越来越广泛的研究和应用。

小波只能反应信号的零维奇异性，即“点”奇异性，而难以表达更高维的特征。1998 年由 E. J. Candès 和 D. L. Donoh^[24]提出的脊波理论 (Ridgelet) 就是为了克服小波变换的这一不足。它不但与小波一样有局部时频分析的能力，还具有很强的方向选择和辨识能力，可以非常有效地表示信号中具有方向性的奇异特征。

1999 年由 Candès 和 Donoho^[25]提出的 Curvelet 变换其实就是一种多尺度的

Ridgelet变换, 首先将图像用滤波器分成不同尺度的子带, 在不同的子带上, 边缘信息和噪声信息就比较清楚地分离开, 再对每个子带的分块后的图像应用 Ridgelet变换, 能有效地描述曲线或超平面奇异性的高维信号。

2000 年, 法国学者Pennec和Mallat提出了Bandelet变换^[26]。Bandelet变换提供了一种新的基于边缘的图像表示方法, 能自适应地跟踪图像的几何正则方向。

受Curvelet变换的启发, 2002 年Minh N. Do和 Martin Vetterli等人提出了Contourlet变换^[27]。它提供了一种灵活的多尺度、局部的、方向性的分析方法, 可以很好地捕捉图像的几何结构, 有效提取原始图像中的特征信息。虽然基于Contourlet变换的图像融合达到了更好的融合效果, 但是这类方法也存在一些不足之处: 其中的Contourlet变换基函数光滑度不理想, 存在频谱混叠现象, 从而削弱了它的方向选择性。

2006 年 Arthur L. da Cunha等提出的一种无下采样Contourlet变换(NSCT)^[28], 针对Contourlet变换的一些局限性进行了改进, 是一种平移不变、多尺度、多方向的超完备变换。因此陆续有人将NSCT应用到图像融合的研究中。比如文献[29]对基于NSCT的图像融合进行了研究, 文献[30]研究了基于NSCT的多传感器图像自适应融合, 文献[31]提出了基于NSCT的红外与可见光图像融合方法, 文献[32]将NSCT应用于多光谱和全色图像的融合, 文献[33]研究了基于NSCT的遥感图像融合, 等等。这些方法都取得了比小波变换和Contourlet变换更优的融合效果。

随着图像融合技术的研究呈不断上升趋势, 其应用的领域从早期的遥感图像遍及可见光、红外、多聚焦和医学图像处理等。图像融合作为信息融合的一种有力工具, 已广泛地应用于军事、遥感、智能机器人和医学图像处理等领域中, 对国民经济的发展和国防建设均具有非常重要的意义。

相对于国际上的研究工作, 我国的图像融合技术起步较晚。同发达国家相比, 水平相差较大, 因此迫切需要开展广泛深入的基础理论和工程技术的研究工作。我国已将信息融合技术列为“863”计划和“十五”规划中的国家重点研究项目, 并将其确定为发展计算机技术及空间技术等高新产业领域的关键技术之一。随着重视程度的提高, 国内许多高等院校和科研院所对信息/图像融合技术进行了大

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库